La contamination métallique du rouget de vase (*Mullus barbatus)* et de la sardinelle *(Sardinella aurita)* du golfe de Tunis

by

Rym ENNOURI* (1, 2), Sami MILI (1, 3) & Lassaad CHOUBA (1)

Résumé. – L'objectif de cette étude est de comparer les niveaux de contamination en métaux (Cd, Pb, Hg, Cu et Zn) d'une espèce benthique, le rouget de vase (*Mullus barbatus*), et une d'espèce pélagique, la sardinelle (*Sardinella aurita*) du golfe de Tunis. L'accumulation saisonnière des cinq éléments considérés a été suivie dans le muscle, le foie, les branchies, le cerveau et les gonades durant l'année 2006. Pour les deux espèces étudiées, le site préférentiel d'accumulation du Cd est le foie. Les branchies de la sardinelle concentrent davantage le Hg, le Cu et le Zn. Une variabilité saisonnière de tous les éléments métalliques est observée dans les gonades des deux espèces. Dans tous les organes du rouget de vase à l'exception des branchies, les teneurs de tous les éléments sont supérieures. Le muscle, principale partie consommée par l'homme, ne constitue pas un site d'accumulation pour les métaux toxiques. La consommation de ce tissu ne présente donc aucun risque sur la santé du consommateur.

© SFI
Received: 1 Apr. 2012
Accepted: 19 Apr. 2013
Editor: E. Dufour

Key words
Mullidae
Mullus barbatus
Clupeidae
Sardinella aurita
Gulf of Tunis
Metallic contamination
Organotropism

Abstract. – Metallic contamination of Red Mullet (*Mullus barbatus*) and Round Sardinella (*Sardinella aurita*) from the Gulf of Tunis.

The Gulf of Tunis (Mediterranean Sea, Northern Tunisia) is one of the most important coastal areas in Tunisia, considering the importance of fish resources and biodiversity. This region is densely populated and characterized by the presence of a variety of economic activities, such as harbors, tourism, agriculture, cities and industries. The toxic elements studied (Cd, Pb and Hg) can affect the ecosystem through bio-accumulation and bio-magnification processes at different levels of the food chain and are potentially toxic for the environment and human life. This study aims to evaluate the levels of mineral elements (Cd, Pb, Hg, Cu and Zn) in five tissues (muscle, liver, brain, gonads and gills) of a benthic teleost species, the Red Mullet *(Mullus barbatus),* and a pelagic teleost species, the Round Sardinella (*Sardinella aurita*). We determined the organotropism and the seasonal effect of metal accumulation in both species. Cd, Pb and Cu concentration analyses were performed using atomic absorption spectrophotometry and Zn using flame atomic absorption spectrophotometry. Total mercury concentration was determined by cold vapour technique (from 0.01 to 0.38). Metal concentrations found in tissues of Red Mullet varied for Cd (0.01-0.38), Pb (0.04-1.14); Hg (0.11-0.64), Cu (0.49-6.65) and Zn (4.7-109 $\mu g g^{-1}$ wet weight). In Round Sardinella they varied for Cd (0.01-0.11), Pb (0.01-0.76), Hg (0.02-0.36), Cu (0.06-7.06) and Zn (5.90-58.92 $\mu g g^{-1}$ wet weight). Highest concentrations of Cd were found in the liver of the two species, in the liver of Red Mullet for Hg, and in the gills of the two species for Pb. The variance analysis showed the important influence of the season on the accumulation of all elements studied in the gonads of Red Mullet and Round Sardinella. Generally, concentrations of metallic ions in the organs of Red Mullet (except the gills) were higher than those in *Sardinella aurita*. Individual size did not have an effect on the accumulation of metals in different organs. Liver and gills of Red Mullet and Round Sardinella may present higher concentrations of toxic metals than the other tissues studied. Therefore, the consumption of gills and liver of these two species can cause a risk to human health.

Le golfe de Tunis présente un intérêt économique (richesse halieutique) et écologique (biodiversité importante). Ces dernières années, il est devenu un réceptacle de rejets anthropiques chargés en plusieurs éléments métalliques. Les oligo-éléments (Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn) jouent un rôle biologique à faibles concentrations mais deviennent toxiques à des teneurs élevées. Les autres (Cd, Pb et Hg), sont considérés comme des micropolluants du milieu et entraînent des effets biologiques délétères même à faibles concentrations. La contamination des sédiments marins peut se transférer vers tous les maillons de la chaîne alimentaire pour finir chez les prédateurs occasionnels (omnivores) ou exclusifs (carnivores) (Aissa, 1991). L'observation d'une contamination des sédiments superficiels du golfe de Tunis en éléments métalliques (Ennouri, 2012) a conduit à déterminer les degrés d'accumulation des éléments métalliques chez deux espèces de poissons occupant deux compartiments différents dans la colonne d'eau : une espèce benthique, le rouget de vase *Mullus barbatus* Linnaeus, 1758, et une espèce pélagique, la sardinelle *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847.

(1) Institut national des sciences et technologies de la mer, 28 rue 2 mars 1934, Salammbô 2025, Tunisie. [sami_mili@yahoo.fr] [lassaad.chouba@instm.rnrt.tn]
(2) Faculté des sciences de Bizerte, Bizerte Zarzouna 7021, Tunisie.
(3) Unité exploitation des milieux aquatiques, Institut supérieur de pêche et d'aquaculture de Bizerte, BP 15, 7080 Menzel Jemil, Tunisie.
* Corresponding author [rymenvmarin@yahoo.fr]

Cette étude s'est intéressée à cinq métaux (Cd, Pb, Hg, Cu et Zn) qui peuvent affecter les écosystèmes marins à travers le processus de bioaccumulation à différents niveaux de la chaîne trophique et qui peuvent être potentiellement toxiques vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine. La détermination de la capacité de bioaccumulation des métaux dans cinq organes différents (muscle, foie, branchies, cerveau et gonades) ainsi que l'estimation des variations saisonnières de la distribution inter-organes (organotropisme) chez les deux espèces représentent les principaux objectifs de cette étude. De plus, l'effet de la taille des individus a été recherché et les niveaux de contamination des deux espèces ont été comparés.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude

Le golfe de Tunis, situé sur la côte la plus urbanisée au Nord-Est de la Tunisie, entre 36°44'N-10°15'E et 37°N-11°05'E, s'étend sur une surface d'environ 2000 km^2 (Fig. 1). Ce golfe est un bassin fermé alimenté par trois principaux oueds : oued Mejerda, oued Méliane et oued El Bey. Il représente la limite sud du canal Siculo-Tunisien qui constitue une ligne de transit des navires entre les bassins occidental et oriental de la Méditerranée. Sur le plan physico-chimique, les eaux de surface du golfe de Tunis sont chaudes en été (25,5°C) et en automne (21,8°C) et froides en hiver (13,4°C) et au printemps (16,1°C) (Zarrad 2007). La salinité moyenne des eaux de surface est de ~37,3‰ en été, 37‰ en automne et au printemps et 36,2‰ en hiver. Les plus faibles concentrations en oxygène sont enregistrées pendant l'été (en moyenne 6,5 mg/l), les plus fortes en hiver (8,3 mg/l) et au printemps (8,0 mg/l). La valeur minimale du pH est de ~8,123 en hiver avec un maximum (8,265) en automne.

Depuis la fin des années 1970, plusieurs facteurs ont provoqué une augmentation du flux des rejets urbains dans le golfe de Tunis comme le développement de l'urbanisation et des zones industrielles dans les banlieues de Tunis et les aménagements portuaires et lagunaires. Les sources de pollution comprennent les oueds véhiculant des polluants (Mejerda, Méliane,…), les canaux de drainage des eaux urbaines et les lagunes côtières qui alimentent le golfe en rejets riches en divers composés tels que les éléments minéraux (Rais, 1999).

Échantillonnage

Les échantillons du rouget de vase et de la sardinelle ont été collectés auprès des embarcations de pêche professionnelle utilisant respectivement le filet trémail (pêche côtière) et la senne tournante coulissante (pêche au feu) comme engins de pêche. Les échantillons proviennent de la région côtière de Ghar El Melh (Fig. 1) choisie en raison de sa richesse en ressources halieutiques et de son accessibilité pour les pêcheurs (Ahmed et *al*., 2009 ; Kraïem et *al*., 2009). De plus, cette zone est soumise à plusieurs sources de pollution (rejets agricoles et urbains, trafic maritime intense,…).

Un échantillonnage mensuel a été réalisé de janvier 2005 à décembre 2005 pour les deux espèces de poissons le 1er jour de chaque mois. Les spécimens des deux espèces ont été mesurés et classés en lots en fonction de leur longueur totale (mm). Des lots de trois gammes de tailles ont été réalisés : gros : LT ≥ 19 cm ; moyen : 16 < LT < 19 ; petit : 14 < LT ≤ 16. Un effectif de 10 individus pour chaque lot a été choisi en se basant sur les méthodes de référence pour les études de la pollution marine (PNUE/FAO/IAEA, 1994). Tous les individus collectés ont une taille supérieure à la taille de première maturité sexuelle de la sardinelle (14 cm) et sont donc matures.

Traitement des échantillons

Les poissons ont été disséqués afin de prélever le foie, les branchies, le cerveau, les gonades et des morceaux de chair sur les flancs du côté dorsal. Les organes ont été placés dans des récipients en verre pour éviter la contamination puis lyophilisés afin d'arrêter toute transformation chimique ou biologique. Par la suite, les lyophilisats ont été broyés et minéralisés dans des réacteurs en téflon dans des micro-ondes après ajout de 5 ml d'acide nitrique. Les minéralisats ont été

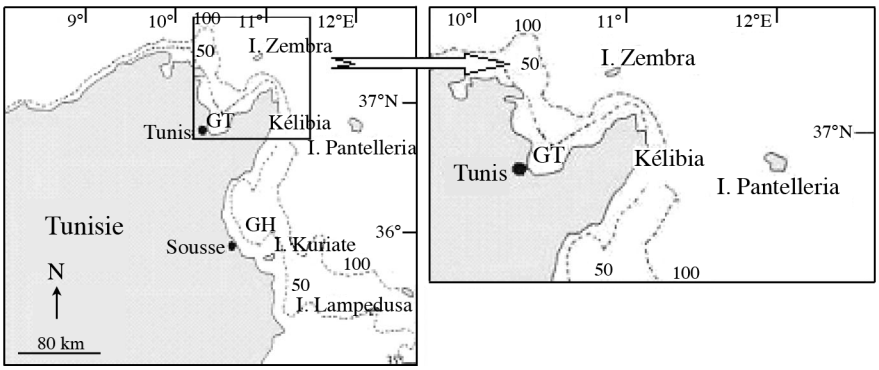

Figure 1. - Carte du golfe de Tunis et zone d'échantillonnage. *[Map of Tunis Gulf and sampling stations.]*

Tableau I. - Relations entre concentration du Cd, Pb, Hg, Cu et Zn dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle avec la taille. R : coefficient de corrélation. Les résultats sont significatifs à $p < 0,05$. *[Relationships between levels of Cd, Pb, Hg, Cu and Zn in the organs of Red Mullet and Sardinella and fish size. R: correlation coefficient. The results are significant at $p < 0.05$.]*

		Organes	Muscle	Foie	Branchies	Cerveau	Gonades
Cd	RV	R	-0,07	0,08	0,25	-0,42	0,15
	S	R	-0,25	-0,007	-0,25	-0,32	-0,05
Pb	RV	R	-0,08	0,14	-0,21	0,13	-0,22
	S	R	0,08	-0,32	-0,07	-0,01	0,09
Hg	RV	R	0,36	0,43	0,29	-0,4	0,15
	S	R	-0,21	-0,46	-0,09	0,42	0,2
Cu	RV	R	-0,27	-0,26	-0,16	-0,04	-0,08
	S	R	0,19	0,16	-0,32	0,48	0,04
Zn	RV	R	0,18	0,02	0,34	0,27	0,35
	S	R	0,66*	-0,32	-0,22	0,18	-0,04

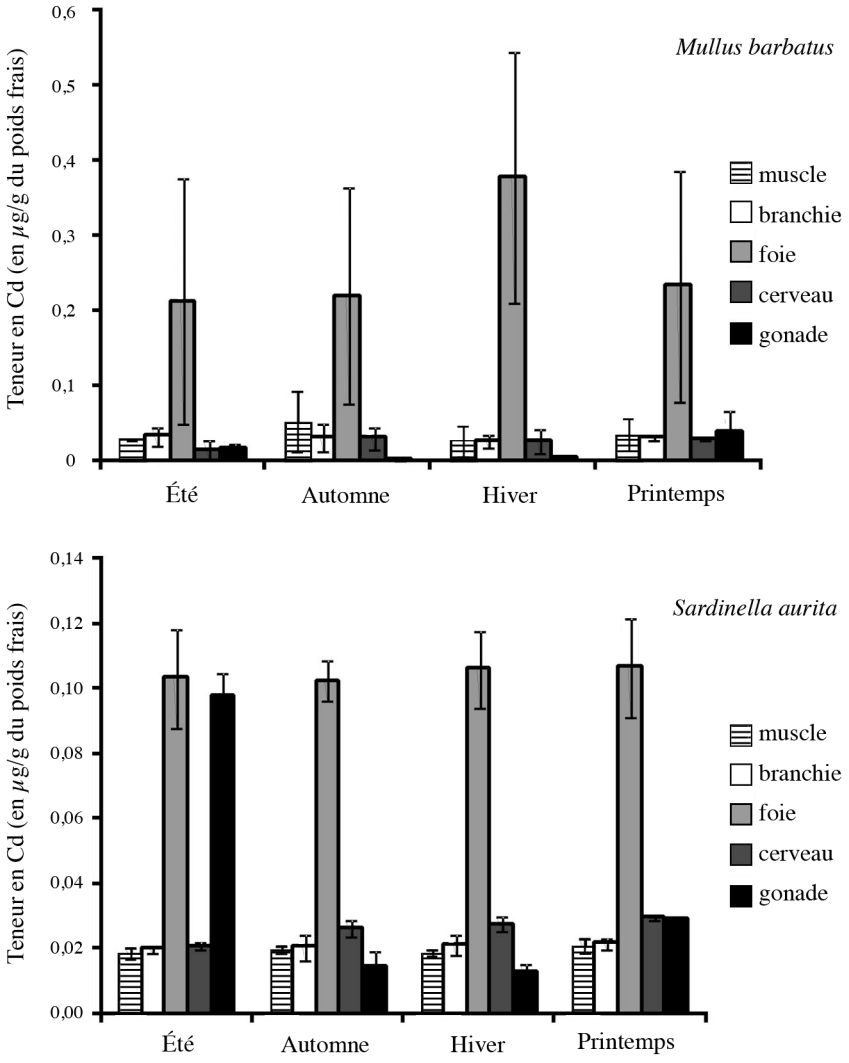

Figure 2. - Teneurs en Cd dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales : écart type. *[Levels of Cd in the organs of Red Mullet and Sardinella (n = 30). Vertical bars: standard deviation.]*

transvasés dans des tubes et complétés jusqu'à 50 ml par de l'eau acidulée. Cette méthode a été utilisée pour le dosage de tous les éléments.

Analyse

Le dosage du Cd et du Pb a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique électrothermique en utilisant

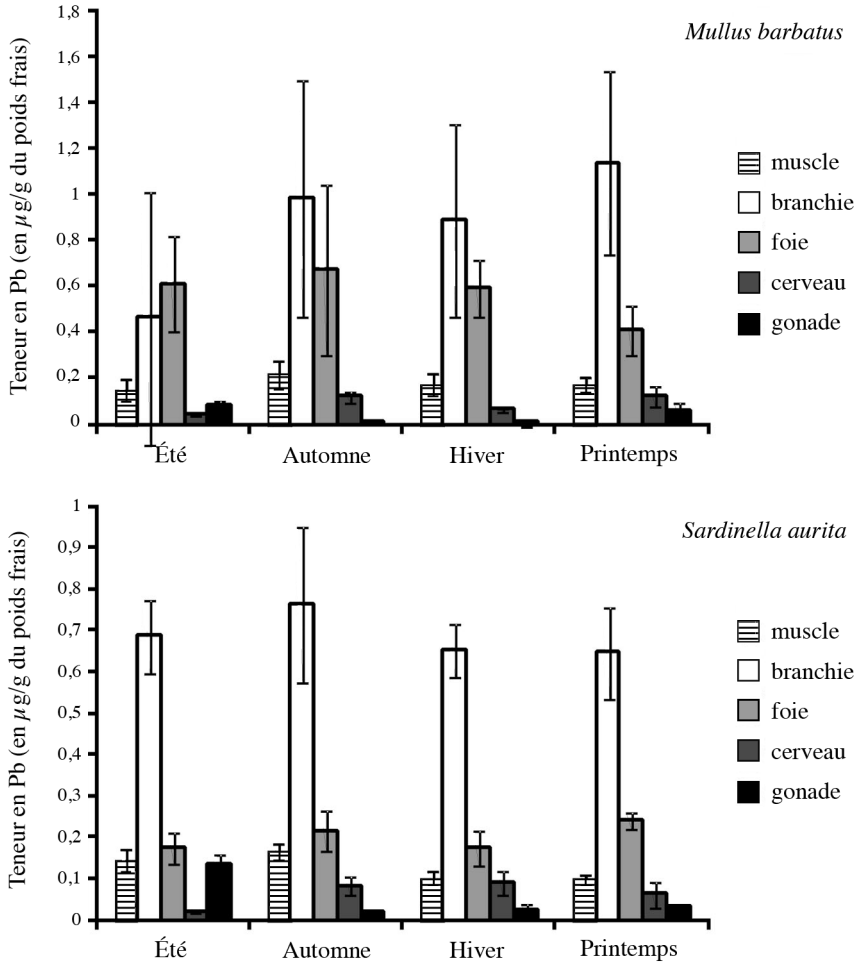

Figure 3. - Teneurs en Pb dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales : écart type. *[Levels of Pb in the organs of Red Mullet and Sardinella (n = 30). Vertical bars: standard deviation.]*

un four à graphite et un correcteur de fond continu à effet Zeeman suivant la méthode de l'UNEP/IAEA/FAO (1996) au laboratoire d'analyse des métaux traces de l'INSTM. Le dosage du Hg a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme à vapeur froide. Pour le reste des éléments, le dosage a été réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

Qualité des résultats

Afin de s'assurer des méthodes de travail (qualité de la minéralisation et justesse des courbes d'étalonnage), un échantillon de référence a été analysé exactement dans les mêmes conditions que celle de l'échantillon considéré. Si la variation standard de la moyenne des 3 réplicas mesurés est inférieure à 5%, la précision de l'appareil est considérée satisfaisante.

Analyses statistiques des données

Les analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel Statistica 8. Après un test de la normalité (test de Kolmogorov-Smirnov et Liliefors) et de l'homogénéité des variances (test de Levene) des tests paramétriques ont été utilisés: test de Student pour la comparaison des moyennes et test ANOVA pour déterminer l'effet des facteurs sur les variables. Le seuil de 95% a été adopté.

RÉSULTATS

Pour le rouget de vase, les concentrations varient de 0,01 à 0,38 pour le Cd ; de 0,04 à 1,14 pour le Pb ; de 0,11 à 0,64 pour le Hg ; de 0,49 à 6,65 pour le Cu et de 4,7 à 109 pour le Zn en $\mu g g^{-1}$ du poids frais (Tab. I). Pour la sardinelle, les concentrations varient de 0,01 à 0,11 pour le Cd ; de 0,01 à 0,76 pour le Pb ; de 0,02 à 0,36 pour le Hg ; de 0,06 à 7,06 pour le Cu et 5,90 à 58,92 pour le Zn en $\mu g g^{-1}$ du poids frais (Tab. I).

Variation selon la taille

Les concentrations des éléments dosés dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle ne sont pas significativement corrélées avec la taille (Tab. I).

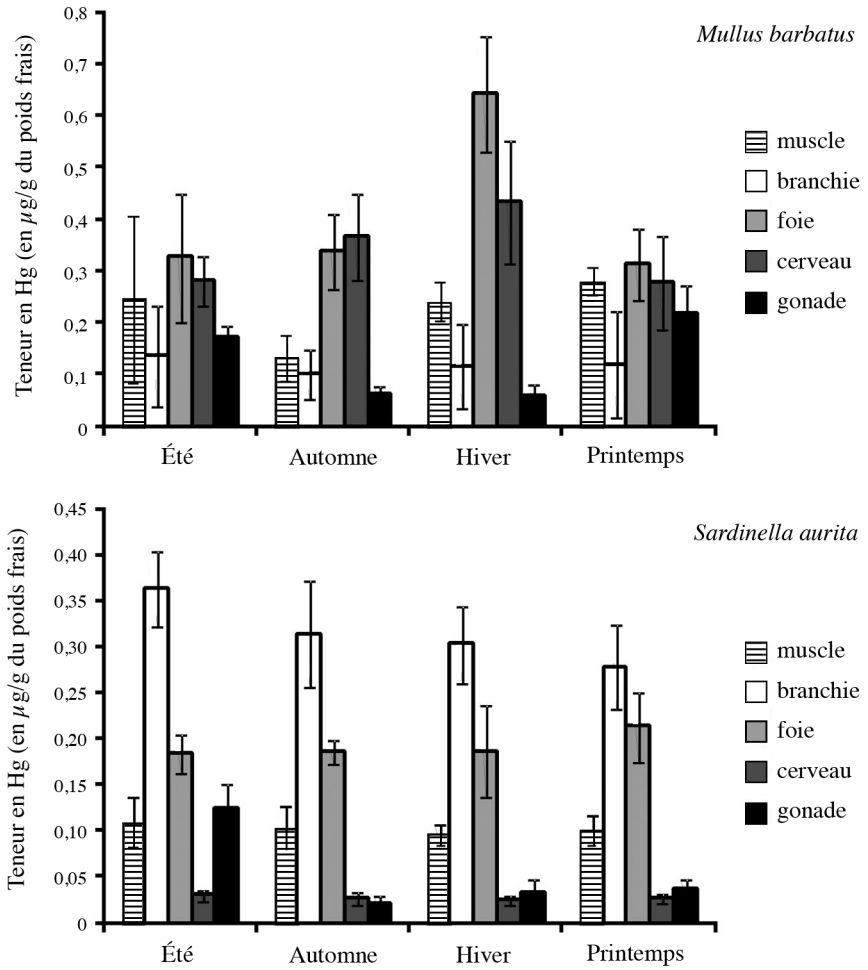

Figure 4. - Teneurs en Hg dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales : écart type. *[Levels of Hg in the organs of Red Mullet and Sardinella (n = 30). Vertical bars: standard deviation.]*

Variations saisonnières

Les teneurs en Cd suivent une variation saisonnière peu intense dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle (Fig. 2), avec une différence significative uniquement dans les gonades (ANOVA, $p = 0,044$) du rouget de vase et dans les gonades ($p < 0,001$) et le cerveau (0,001) de la sardinelle. Les pics ont été observés au printemps et en été pour les gonades du rouget et en été pour les gonades de la sardinelle (Fig. 2).

Les concentrations du Pb dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle varient en fonction des saisons (Fig. 3). Une différence saisonnière significative de concentrations du Pb existe uniquement dans les gonades (ANOVA, $p = 0,001$) et le cerveau (ANOVA, $p = 0,009$) du rouget de vase et dans le muscle (ANOVA, $p = 0,003$), le cerveau (ANOVA, $p = 0,023$) et les gonades (ANOVA, $p < 0,001$) de la sardinelle.

Les teneurs en Hg dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle présentent une variabilité saisonnière remarquable (Fig. 4). Il existe une variation saisonnière significative dans les gonades (ANOVA, $p < 0,001$) chez les deux espèces. Les concentrations les plus élevées sont observées au printemps et en été pour le Rouget, et en été pour la sardinelle (Fig. 4).

Les teneurs en Cu dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle présentent une variabilité saisonnière importante dans les branchies ($p = 0,027$), le cerveau ($p = 0,004$) et les gonades ($p = 0,004$) pour le rouget de vase et dans le muscle (0,021) et les gonades ($p < 0,001$) pour la sardinelle (Fig. 5).

Les teneurs en Zn dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle présentent une variation saisonnière remarquable avec une différence significative dans les gonades du rouget de vase et de la sardinelle (ANOVA, $p < 0,05$). Les pics ont été observés en été et au printemps pour les gonades du rouget et uniquement en été pour la sardinelle (Fig. 6).

Organotropisme

Pour les deux espèces, les concentrations les plus élevées de Cd et de Pb ont été observées respectivement dans le foie et les branchies (Figs 2, 3) ; celles de Hg et Cu dans le foie du rouget de vase et les branchies de la sardinelle (Figs 4,

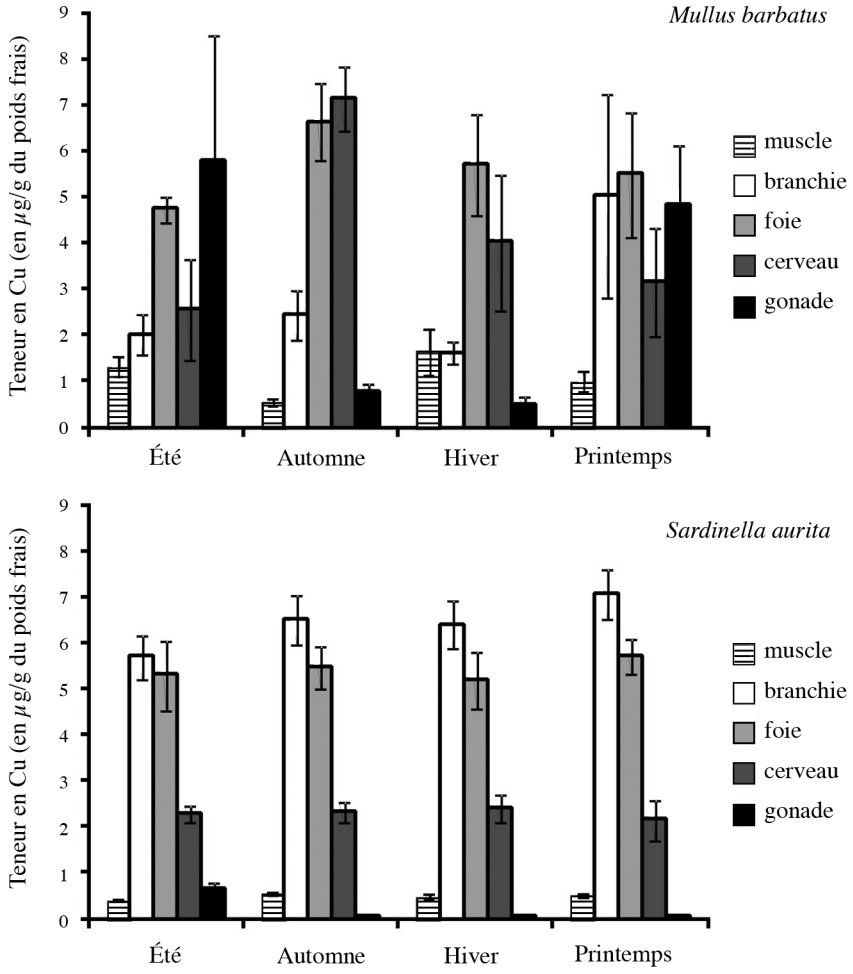

Figure 5. - Teneurs en Cu dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales : écart type. *[Levels of Cu in the organs of Red Mullet and Sardinella (n = 30). Vertical bars: standard deviation.]*

5) ; et celles de Zn dans les gonades du rouget de vase et les branchies de la sardinelle (Fig. 6).

Comparaison des concentrations de Cd, Pb, Hg, Cu et Zn entre les deux espèces

Les concentrations moyennes de Cd du muscle, des branchies et du foie, et de Pb du muscle, du foie et des gonades du rouget de vase sont significativement plus élevées que celles des mêmes organes de la sardinelle. Les concentrations moyennes de Hg du muscle, du foie, du cerveau et des gonades, du Cu du muscle, du cerveau et des gonades et de Zn du foie, du cerveau et des gonades chez le rouget de vase sont plus élevées que celles des organes de la sardinelle.

Les concentrations de Hg et de Cu dans les branchies de la sardinelle, ainsi que celles du Zn du muscle et des branchies de la sardinelle sont significativement plus élevées que celles des mêmes organes du rouget de vase.

DISCUSSION

Variations selon la taille

Dans le présent travail, les concentrations des éléments dans les cinq organes étudiés chez le rouget et la sardinelle ne sont pas corrélées à la taille des individus. Les travaux menés sur les relations entre les teneurs de certains éléments minéraux et la taille (âge) des poissons ont fourni des résultats variés. Des corrélations positives ont été mises en évidence pour les concentrations du Cu et du Pb des gonades de *Lophius piscatorius* (Mormede et Davies, 2001). Au contraire, des corrélations négatives ont été trouvées pour les concentrations du Pb dans le muscle de *Labeo umbratus* en provenance de la mer des Émirats arabes (Al-Yousuf et *al.,* 2000). Chez d'autres espèces, telles que *Micromesistius poutassou* et *Merluccius merluccius* pêchées de la région ouest d'Écosse, il n'y a pas de corrélation entre la teneur des

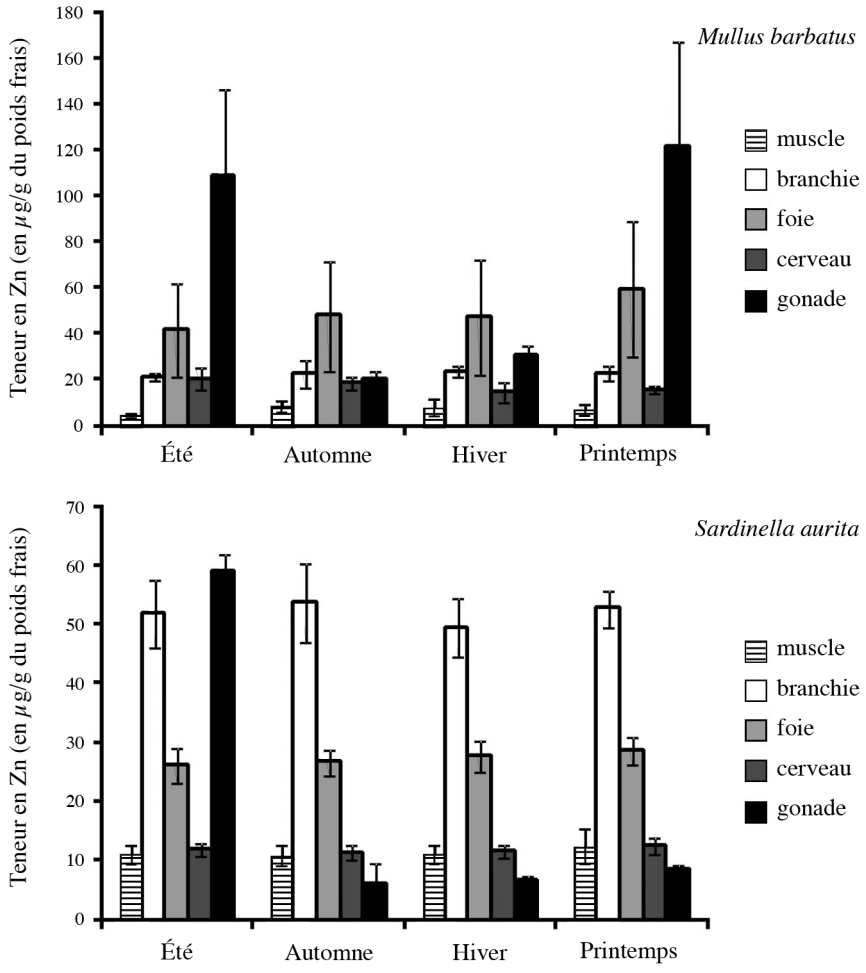

Figure 6. - Teneurs en Zn dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle en fonction des saisons (n = 30). Barres verticales : écart type. *[Levels of Zn in the organs of Red Mullet and Sardinella (n = 30). Vertical bars: standard deviation.]*

métaux et la longueur (Mormede et Davies, 2001). D'autres études mettent en évidence des relations différentes selon les minéraux et les tissus étudiés d'une même espèce. Ainsi, il existe une corrélation positive entre la taille et les concentrations de Hg et de Cd dans le foie et le muscle des poissons pélagiques de la région Ouest de l'Océan indien, mais il n'y a pas de corrélation pour le Pb (Kojadinovic et *al.,* 2007). De même, il existe une corrélation positive pour Hg et Cd dans les gonades du pageot *Pagellus erythrinus* mais pas de relations dans le muscle et dans le foie (Uluturhan et Kucuksezgin 2007). Cependant, la gamme de tailles des spécimens que nous avons étudiés était différente de celle qui avait été utilisée dans cette étude. De plus, le taux de croissance, qui est variable selon l'habitat de l'espèce, peut avoir un effet sur l'accumulation des différents éléments. D'après Douben (1989), une corrélation positive entre les concentrations dans les poissons et la taille pourrait s'expliquer par le temps d'imprégnation qui augmente avec l'âge et qui a un effet sur l'accumulation des métaux lorsque les concentrations des métaux sont très élevées dans l'eau. Les faibles concentrations en métaux dans l'eau du golfe de Tunis (Rais, 1999) peuvent expliquer l'absence de corrélations entre la taille des deux espèces étudiées et les concentrations métalliques. Ce résultat nous a amenés à éliminer l'effet de la taille, étant négligeable, dans la suite du travail.

Variations saisonnières

Une variation saisonnière a été observée pour les concentrations de tous les éléments étudiés dans les gonades des deux poissons. Les teneurs les plus élevées ont été observées en été et au printemps chez le rouget de vase et seulement en été chez la sardinelle. Chez cette dernière espèce, les concentrations élevées pourraient être corrélées aux variations du rapport gonado-somatique (RGS) chez les mâles et les femelles. Ce rapport est le plus élevé pendant la période de pré-ponte, de juillet à septembre (Gaamour, 1999). Chez le rouget de vase, le rapport gonado-somatique (RGS) chez les mâles et les femelles est plus élevé de mars à juillet et atteint son maximum en avril. En automne et en hiver ce poisson est au repos sexuel ; le rapport gonado-somatique est minimal et

donc la concentration des métaux est faible (Gharbi, 1980). Une variation saisonnière significative des concentrations en Hg dans les gonades a également été observée pour cette espèce dans d'autres études (Tolga Gonul et Kucuksezgin 2007). Les concentrations les plus élevées ont été enregistrées dans les échantillons collectés en été et au printemps, lorsque les gonades sont très développées et riches en lipides. De plus, ces études ont montré que le muscle et le foie renferment généralement des concentrations faibles en Hg pendant ces saisons. Ceci démontre que la variation de la teneur en Hg dans les différents tissus du rouget de vase est en relation avec le cycle biologique du poisson.

Le suivi de la variation saisonnière des concentrations des différents éléments dans les autres organes du rouget de vase a montré que les teneurs les plus élevées dans le cerveau ont été enregistrées au printemps pour le Pb et en automne pour le Cu et dans les branchies au printemps pour Cu. Chez la sardinelle, le cerveau renferme les teneurs les plus fortes du Pb en automne et en hiver. Alors que dans le muscle le Pb atteint des concentrations maximales en été et au printemps.

Ainsi, les concentrations des éléments considérés présentent des variations saisonnières non similaires chez les deux espèces. Plusieurs facteurs comme l'activité biologique propre à chaque espèce et le métabolisme, qui contribuent activement au changement des taux d'incorporation des métaux toxiques et des éléments essentiels dans les différents tissus de l'organisme, pourraient expliquer ces différences.

Organotropisme

Dans notre étude, le foie est l'organe d'accumulation préférentiel. Cet organe représente le site privilégié d'accumulation du Cd chez le rouget de vase et la sardinelle, et du Hg et du Cu chez le rouget de vase. Chez les deux espèces, les concentrations dans le foie sont supérieures à celles qui ont été trouvées dans le muscle, parce que ces éléments sont sans doute éliminés plus rapidement du muscle que du foie (Marcovecchio et Moteno, 1993 ; Cinier *et al.,* 1999 ; Kljakovic Gaspic *et al.,* 2002 ; Usero et *al.,* 2003 ; Agusa *et al.,* 2007 ; Yilmaz et *al.,* 2007). La faible activité métabolique du muscle et le contrôle homéostasique qui s'y exerce expliquent ces faibles concentrations des métaux (Plaskett et Potter, 1979). La métallothionéine (MT) est une protéine de détoxification de faible poids moléculaire présente dans le tissu hépatique et à plus faible concentration au niveau des reins, des branchies et du muscle (Hogstrand et Haux, 1991 ; Hamza-Chaffai *et al.,* 1995 ; Mason et Jenkins, 1995 ; Olson *et al.,* 1996 ; De Boeck *et al.,* 2003 ; Scudiero *et al.,* 2005). Elle procure une protection vis-à-vis de certains métaux toxiques, le Cd, le Hg et l'excès du Cu et du Zn, par la séquestration des ions métalliques libres (Hamilton et Mehrle, 1986 ; Vallee, 1995 ; Roesijadi, 1996 ; Hamza-Chaffai et *al.,* 1996 ; Al-Yousuf *et al.,* 2000). Cela peut expliquer la bio-concentration préférentielle du Cd dans le foie des deux espèces étudiées.

La sardinelle a tendance à accumuler les métaux présents dans l'eau de mer au niveau de ses branchies par adsorption (Heath, 1987 ; Canli et Furness, 1993a, 1993b ; Roesijadi et Robinson, 1994).

L'accumulation du Zn dans les gonades du rouget de vase, comme dans les gonades d'autres espèces, pourrait s'expliquer par la mise en réserve de cet élément pour satisfaire les besoins des embryons au cours de leur développement (Brook et Rumsey, 1974). Le taux d'accumulation dans les gonades varie en fonction de l'espèce et du degré de maturité sexuelle ou des variations du régime alimentaire (Hamza-Chaffai *et al.,* 1995). Toutefois, les gonades pourraient excréter une partie des métaux toxiques.

Comparaison interspécifique

La comparaison des variations de concentrations des métaux (Cd, Pb, Hg, Cu et Zn) dans les organes du rouget de vase et de la sardinelle a montré que le rouget de vase accumule davantage les métaux toxiques. C'est une espèce benthique, en relation étroite avec le sédiment, caractérisée par sa faible mobilité et par sa nourriture riche en algues, polychètes, crustacés, gastéropodes et poissons (Gon et Heemstra, 1990). La sardinelle est une espèce pélagique essentiellement planctonophage, sans contact direct avec le sédiment. Le sédiment constitue le plus important réservoir des métaux et des autres polluants de l'environnement aquatique. En relation avec leur mobilité et leurs préférences alimentaires (Fowler, 1986), les poissons vivant près du fond marin reflètent par conséquent les concentrations des éléments métalliques de l'environnement benthique (Roméo *et al.,* 1992 ; Çogun et *al.,* 2006 ; Fernandes et *al.,* 2008). Si la voie trophique est donc la principale voie d'accumulation des éléments minéraux dans les organismes aquatiques, en revanche, la bioaccumulation des métaux au niveau des organismes marins ne se fait pas principalement à travers la chaine trophique (Wang, 2002; Marin-Guirao et *al.,* 2008). D'autres voies comme l'ingestion à partir de l'eau environnante pourrait être aussi une cause de la bioaccumulation des métaux (Marin-Guirao et *al.,* 2008). Cependant, les eaux du golfe de Tunis n'étant pas chargées en métaux (Rais, 1999) cette voie ne peut pas être responsable de la bioamplification des métaux considérés.

En conclusion, la taille des individus n'a pas d'effet significatif sur l'accumulation des éléments dans les organes des deux espèces étudiées. En revanche, notre étude démontre l'importance du facteur saisonnier sur l'accumulation de tous les éléments dans les gonades du rouget de vase et de la sardinelle. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées en été pour l'espèce benthique et au printemps et en été pour l'espèce pélagique. Ainsi, ces résultats amènent à préconiser d'éviter la consommation des gonades du rouget de vase du

golfe de Tunis en été en raison de concentrations relativement élevées en métaux toxiques. Pour la sardinelle il faut éviter la consommation des gonades au printemps et en été. L'étude organotropique a montré que le Cd s'accumule davantage dans le foie des deux espèces. Le Hg est accumulé préférentiellement au niveau du foie chez le rouget de vase. Enfin, le Pb se concentre principalement dans les branchies chez les deux espèces. Les deux tissus (foie et branchies) du rouget de vase et de la sardinelle pouvant présenter des concentrations supérieures à celles des autres tissus étudiés, nous conseillons d'éviter leur utilisation dans la consommation humaine et animale.

Remerciements. – Nous remercions l'Institut national des sciences et technologies de la mer (Tunisie) qui a mis ses équipes à notre disposition pour la réalisation de ce travail. Nous remercions aussi les arbitres pour les améliorations apportées à la version initiale du manuscrit.

RÉFÉRENCES

AGUSA T., KUNITO T., SUNDARYANTO A., MONIRITH I., KAN-ATIREKLAP S., IWATA H., ISMAIL A., SANGUANSIN J., MUCHTAR M., SEANG TANA T. & TANABE S., 2007. - Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia. *Environ. Pollut.,* 145: 766-777.

AHMED M.H., LEITHY J.R., THOMPSON J.R., FLOWER R.J., RAMDANI M., AYACHE F. & HASSAN S.M., 2009. - Application of remote sensing to site characterisation and environmental change analysis of North African coastal lagoons. *Hydrobiologia,* 622: 147-171.

AISSA P., 1991. - Les métaux lourds et les poissons. Thèse de Doctorat, 230 p. Faculté des sciences de Tunis, Tunisie.

AL-YOUSUF M.H., EL-SHAHAWI M.S. & AL-GHAIS S.M., 2000. - Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *Sci. Total. Environ.,* 256: 87-94.

BROOK R.R. & RUMSEY D., 1974. - Heavy metals in some New Zealand sea fishes. *N. Z. J. Mar. Freshw.,* 8: 155-166.

CANLI M. & FURNESS R.W., 1993a. - Heavy metals in tissues of the Norway lobster *Nephrops norvegicus:* effects of sex, size and season. *Chem. Ecol.,* 8: 19-32.

CANLI M. & FURNESS R.W., 1993b. - Toxicity of heavy metals dissolved in sea water and influences of sex and size on metal accumulation and tissue distribution in the Norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Mar. Environ .Res.,* 36: 217-236.

CINIER C., PETIT-RAMEL M., FAURE R., GARIN D. & BOUVET Y., 1999. - Kinetics of cadmium accumulation and elimination in Carp *Cyprinus carpio* tissues. *Comp. Biochem. Phys.,* 122: 345-352.

ÇOGUN H.Y., YUZEREROGLU T.A., FIRAT Ö., GOK G. & KARGIN F., 2006. - Metal concentrations in fish species from the Northeast Mediterranean Sea. *Environ. Monit. Assess.,* 121: 431-438.

DE BOECK G., NGO T.T.H., VAN CAMPENHOUT K. & BLUST R., 2003. - Differential metallothionein induction patterns in three freshwater fish during sublethal copper exposure. *Aquat. Toxicol.,* 65(4): 413-424.

DOUBEN P.E., 1989. - Lead and cadmium in stone loach (*Noemacheilus barbatulus* L.) from three rivers in Derbyshire. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 18(1): 35-58.

ENNOURI R., 2012. - Suivi des éléments métalliques dans le golfe de Tunis : évaluation au niveau des sédiments et de deux espèces de poissons (le rouget de vase : *Mullus barbatus* et la sardinelle : *Sardinella aurita*). Thèse de Doctorat, 212 p. Faculté des sciences de Bizerte, Tunisie.

FERNANDES D., BEBIANNO M.J. & PORTE C., 2008. - Hepatic levels of metal and metallothioneins in two commercial fish species of the Northern Iberian shelf. *Sci. Total Environ.,* 391: 159-167.

FOWLER S.W., 1986. - Trace metal monitoring of pelagic organisms from the open Mediterranean Sea. *Environ. Monit. Assess.,* 7:59-78.

GAAMOUR A., 1999. - La sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) dans les eaux tunisiennes : reproduction, croissance et pêche dans la région du cap Bon. Thèse de Doctorat, 229 p. Univ. de Bretagne occidentale, France.

GHARBI H., 1980. - Contribution à l'étude biologique et dynamique des Rougets (*Mullus barbatus* Linnaeus¸ 1758 et *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758) des côtes tunisiennes. Thèse de Doctorat, 100 p. Faculté des sciences de Tunis, Tunisie.

GON O. & HEEMSTRA P.C., 1990. - Fishes of the Southern Ocean. 462 p. Grahamstown, South Africa: JLB Smith Institute of Ichthyology.

HAMILTON S.J. & MEHRLE P.M., 1986. - Evaluation of metallothionein measurement as a biological indicator of stress for cadmium in brook trout. *Trans. Am. Fish. Soc.,* 116: 551-560.

HAMZA-CHAFFAI A., COSSON R.P., AMIARD-TRIQUET C. & ELABED A., 1995. - Physico-chemical forms of storage of metals (Cd, Cu and Zn) and metallothionein-like proteins in gills and liver of marine fish from Tunisian coast: ecotoxicological consequences. *Comp. Biochem. Physiol.,* 2: 329-341.

HAMZA-CHAFFAI A., ROMEO M. & ELABED A., 1996. - Heavy metals in different fishes from the middle eastern coast of Tunisia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.,* 56:766-773.

HEATH A.G., 1987. - Water Pollution and Fish Physiology. 11 p. Florida, USA: CRC press.

HOGSTRAND C. & HAUX C., 1991. - Binding and detoxification of heavy metals in lower vertebrates with reference to metallothionein. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.,* 100: 137-141.

KLJAKOVIC GASPIC Z., ZVONARIC T., VRGOC N., ODZAK N. & BARIC A., 2002. - Cadmium and lead in selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic Sea. *Water Res.,* 36: 5023-5028.

KOJADINOVIC J., POTIER M., LE CORRE M., COSSON R.P. & BUSTAMANTE P., 2007. - Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environ. Pollut.,* 146: 548-566.

KRAÏEM M.M., CHOUBA L., RAMDANI M., AHMED M.H., THOMPSON J.R & FLOWER R.J., 2009. - The fish fauna of three North African lagoons: specific inventories ecological status and production. *Hydrobiologica*, 622: 133-146.

MARCOVECCHIO J.E. & MORENO V.J., 1993. - Cadmium, Zinc and total mercury levels in the tissues of several fish species from La Plata River estuary, Argentina. *Environ. Monit. Assess.,* 25 : 119-130.

MARIN-GUIRAO L., LORET J. & MARIN A., 2008. - Carbon and nitrogen stable isotopes and metal concentration in food webs from a mining-impacted coastal lagoon. *Sci. Total Environ.,* 393 : 118-130.

MASON A.Z. & JENKINS K.D., 1995. - Metal detoxification in aquatic organisms. Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems. *In:* IUPAC series on analytic and physical chemistry of environmental systems, Vol. 3 (Tessier A. & Turner D.R., eds), pp. 479-607. Chichester, England: John Wiley and Sons.

MORMEDE S. & DAVIES I.M., 2001. - Heavy metal concentrations in commercial deep-sea fish from the Rockall Trough. *Cont. Shelf Res.*, 21: 899-916.

OLSON P.E., LARSSON A. & HAUX C., 1996. - Influence of seasonal changes in water temperature on cadmium inducibility of hepatic and renal metallothionein in rainbow trout. *Mar. Environ. Res.,* 42: 41-44.

PLASKETT D. & POTTER J.C., 1979. - Heavy metal concentrations in the muscle tissue of 12 species of teleost from Cockburn Sound, Western Australia. *Austr. J. Freshw. Res.,* 30: 607-616.

PNUE/FAO/IAEA, 1994. - Programmes de surveillance continue des contaminants utilisant des organismes marins : assurance de la qualité et bonnes pratiques de laboratoire. Méthodes de référence pour les études de la pollution marine, N° 57, 25 p.

RAIS M., 1999. - Géochimie des métaux lourds (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni et Cd) dans les eaux et les sédiments du littoral du golfe de Tunis. Mobilité et impact des activités anthropiques. Thèse de Doctorat, 190 p. Faculté des sciences de Tunis, Tunisie.

ROESIJADI G., 1996. - Metallothionein and its role in toxic metal regulation. *Comp. Biochem. Physiol.,* 2: 117-123.

ROESIJADI G. & ROBINSON W.E., 1994. - Metal regulation in aquatic animals: mechanism of uptake, accumulation and release. *In*: Aquatic Toxicology (Molecular, Biochemical and Cellular Perspectives) (Malins D.C. & Ostrander G.K., eds), pp. 387-420. New York: CRC Lewis Publishers.

SCUDIERO R., TEMUSSI P.A. & PARISI E., 2005. - Fish and mammalian metallothioneins: a comparative study. *Gene,* 345: 21-26.

TOLGA GONUL L. & KUCUKSEZGIN F., 2007. - Mercury accumulation and speciation in the muscle of red mullet (*Mullus barbatus*) and annular sea bream (*Diplodus annularis*) from Izmir Bay (Eastern Aegean). *Mar. Pollut. Bull.,* 54: 1962-1989.

ULUTURHAN E. & KUCUKSEZGIN F., 2007. - Heavy metal contaminants in Red Pandora (*Pagellus erythrinus*) tissues from the Eastern Aegean Sea, Turkey. *Water Res.,* 41: 1185-1192.

UNEP/IAEA/FAO, 1996. - Reference methods for marine pollution studies. *UNEP*, 71: 1-40.

USERO J., IZQUIERDO C., MORILLO J & GRACIA I., 2003. - Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. *Environ. Int.,* 29: 949-956.

VALLEE B.L., 1995. - The function of metallothionein. *Neurochem. Int.,* 27 (1): 23-33.

WANG W.X., 2002. - Interactions of trace metals and different marine food chains. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 243: 295-309.

YILMAZ F., ÖZDEMIR N., DEMIRAK A. & LEVENT TUNA A., 2007. - Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chem.,* 100: 830-835.

ZARRAD R., 2007. - Distributions spatio-temporelles des œufs et des larves de l'anchois *Engraulis eucrasicolus,* de la sardinelle *Sardinella aurita* et de la sardine *Sardina pilchardus* dans le golfe de Tunis et relations avec les paramètres environnementaux. Thèse de Doctorat, 253 p. Institut national agronomique de Tunisie.